

Politeknik Caltex Riau

LAPORAN PROYEK AKHIR

**PERENCANAAN PENINGKATAN KAPASITAS
MESIN PENANAM PADI BERBASIS SINTESIS
KINEMATIKA DAN DINAMIKA**

**Samuel Tabah Penemuan Parulian Silalahi
NIM.2121302006**

**Pembimbing
Agus Wijianto. S.T.,M.T**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
POLITEKNIK CALTEX RIAU
2025**

Politeknik Caltex Riau

HALAMAN PENGESAHAN

**PERENCANAAN PENINGKATAN KAPASITAS MESIN
PENANAM PADI BERBASIS SINTESIS KINEMATIKA
DAN DINAMIKA**

**Samuel Tabah Penemu Parulian Silalahi
NIM. 2121302044**

Proyek Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di Politeknik Caltex Riau
Pekanbaru.

Dersetuju oleh:

Agus Wijianto, S.T.,M.T
NIP. 047812

(Penulis)

Jupri Yanda Zaira, S.T.,M.T
NIP. 078321

(Pengaji 1)

Dr. Mustaza Ma'a, S.T.,M.T
NIP. 017611

(Pengaji 2)

Mengetahui,
Ketua Program Studi
D4-Teknik Mesin



Roni Novisqa, S.T.,M.T
NIP. 178506

Pernyataan

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam proyek akhir yang berjudul:

“PERENCANAAN PENINGKATAN KAPASITAS MESIN PENANAM PADI BERBASIS SINTESIS KINEMATIKA DAN DINAMIKA”

Adalah benar hasil karya saya, dan tidak mengandung karya ilmiah atau tulisan yang pernah diajukan dalam suatu perguruan tinggi. Setiap kata yang dituliskan tidak mengandung plagiat, pernah ditulis maupun diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam proyek akhir ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Saya siap menanggung seluruh akibat apabila terbukti melakukan plagiat.

Pekanbaru,

Samuel Silalahi

Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya penulis mampu menyelesaikan proyek akhir dan laporan proyek akhir ini dengan tepat waktu. Proyek akhir ini dikerjakan demi memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Terapan Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Caltex Riau. Seluruh proses pembuatan proyek akhir ini baik dalam pelaksanaan di kampus maupun dalam penulisan laporannya merupakan suatu proses pembelajaran. Meski tidak sempurna, namun memberi kesan yang mendalam, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini bukanlah tugas akhir dari belajar kerena belajar adalah suatu yang tidak terbatas. Dalam penulisan makalah ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, yaitu:

1. Tuhan Yang Maha Kuasa yang selalu senantiasa memberikan kemudahan dan kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
2. Kedua orang tua dan semua keluarga yang selalu memberikan dukungan moral dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir ini.
3. Bapak Agus Wijianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah telah banyak memberi bimbingan dan petunjuk selama mengerjakan proyek akhir dan laporan proyek ini.
4. Bapak Dr. Dadang Syarif Sihabudin Sahid, S.Si., M.Sc. selaku Direktur Politeknik Caltex Riau.
5. Bapak Roni Novison, S.T, M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin.
6. Bapak Roni Novison, S.ST., M.T. selaku dosen wali kelas.

7. Bapak Bapak Jupri Yanda Zaira, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Mustaza Ma'a, S.T, M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan dan pengujianya.
8. Teman satu angkatan Teknik Mesin G21 dan seluruh mahasiswa kelas 4 Mesin B yang selalu bersama penulis saat susah dan senang dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
9. Terima kasih kepada Autranisa yang membantu dan menemani penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
10. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebukan satu per satu.

Laporan ini telah dibuat sebaik-baiknya, akan tetapi penulis menyadari bahwa tulisan ini tidak luput dari kesalahan dan pembuatan laporan ini masih jauh dari sempurna untuk penulis minta maaf. Semoga karya penelitian tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan kebaikan bagi banyak pihak serta bernilai. Amin.

Pekanbaru,

Samuel Silalahi

Abstrak

Padi merupakan komoditas tanaman pangan penghasil beras yang memegang peranan penting dalam kehidupan ekonomi Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu menghasilkan jarak tanam antar bibit sebesar 25 cm secara konsisten melalui gerak harmonik lengan penanam. Pergerakan sudut dan linear seluruh linkage berlangsung stabil dan periodik, menghasilkan proses penanaman yang seragam. Kecepatan sudut poros utama tercatat konstan, mendukung kestabilan putaran, sedangkan torsi motor maksimum berada dalam rentang yang realistik untuk aplikasi lapangan. Sistem juga menunjukkan efisiensi mekanisme yang baik, ditandai dengan kestabilan energi kinetik komponen rotasi dan konsumsi daya motor yang terkendali. Temuan ini memiliki signifikansi praktis bagi praktisi dan industri alat dan mesin pertanian, karena dapat menjadi acuan pengembangan rice transplanter yang lebih efisien energi, presisi tinggi, dan sesuai dengan kondisi lahan sawah di Indonesia, sehingga berpotensi meningkatkan produktivitas dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual.

Kata Kunci: Mesin penanam padi, Sintesis kinematika, Dinamika mekanisme, Kapasitas tanam.

Abstract

Rice is a food crop commodity that plays a vital role in the Indonesian economy. The results of this study indicate that the designed system is capable of consistently maintaining a 25 cm spacing between seedlings through the harmonic motion of the planting arm. The angular and linear movements of the entire linkage are stable and periodic, resulting in a uniform planting process. The angular velocity of the main shaft is recorded as constant, supporting rotational stability, while the maximum motor torque is within a realistic range for field applications. The system also demonstrates good mechanical efficiency, characterized by stable kinetic energy of the rotational components and controlled motor power consumption. These findings have practical significance for practitioners and the agricultural machinery industry, as they can serve as a reference for the development of rice transplanters that are more energy efficient, highly precise, and suited to rice field conditions in Indonesia, thus potentially increasing productivity and reducing reliance on manual labor.

Keywords: Rice planting machine, Kinematic synthesis, Mechanism dynamics, Planting capacity.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
Pernyataan	ii
Kata Pengantar.....	iii
Abstrak	v
Abstract.....	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
BAB III METODE PENELITIAN	9
3.1 Desain	9
3.2 Asumsi Simulasi	11
3.3 Validasi dan Verifikasi	13
3.4 Parameter Material.....	15
3.5 Kondisi Batas dan Asumsi.....	17

3.6 Tabel Parameter Desain Awal	18
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....	21
4.1 Hasil dan Pembahasan	21
4.2 Naskah Jurnal	24
4.3 Proses Penerbitan Jurnal	24
BAB V ANALISA DAN KESIMPULAN	29
5.1 Analisa.....	29
5.2 Kesimpulan.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN 1	36
LAMPIRAN 2	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Desain Mesin Penanam Padi.....	10
Gambar 2. Material yang digunakan di Solidworks Motion Simulation.....	17
Gambar 3. Grafik Jarak Tanam Antar Bibit.....	22
Gambar 4. Submit Draft Jurnal.....	26
Gambar 5. Menunggu Reviewer dan Proses Revisi	27
Gambar 6. Artikel di Publikasikan (Published)	28

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tabel Parameter Desain Awal	18
Tabel 2. Tabel Variasi Jarak Tanam.....	21

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Padi merupakan salah satu komoditas pangan utama di Indonesia yang menjadi sumber karbohidrat bagi sebagian besar penduduk. Proses penanaman padi di Indonesia umumnya masih menggunakan metode manual yang membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah besar dan waktu yang lama. Menurut (Jaka Budi Santosa, 2025), keterbatasan tenaga kerja disektor pertanian, terutama di daerah pedesaan, telah mendorong perlunya inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi produksi. Penelitian lain menunjukkan bahwa mekanisasi penanaman padi dapat meningkatkan produktivitas hingga lebih dari 20% dibanding metode manual, sekaligus mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja musiman. (Randi Saputra 2023; Ristiawan et al. 2018; Hilmy, Hendrarini, and Setiawan 2025).

Lebih dari 25% total kebutuhan tenaga kerja dalam budidaya padi terserap pada proses penanaman. Situasi ini menjadi semakin kompleks karena menurunnya ketersediaan tenaga kerja akibat berkurangnya minat generasi muda terhadap pertanian tradisional dan bertambahnya usia produktif petani. Oleh karena itu, upaya mekanisasi pertanian melalui penerapan alat dan mesin pertanian (alsintan), seperti rice transplanter, menjadi kebutuhan

strategis guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Berbagai studi menunjukkan bahwa penggunaan rice transplanter mampu menekan biaya tanam, mempercepat waktu penanaman, serta mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja yang kian langka. (Yantony et al. 2024a; Deshmukh et al. 2018; Salam et al. 2024; Sugiarto, Astutik, and Saputra 2023).

Berbagai inovasi mesin penanam padi (rice transplanter) telah dikembangkan, baik oleh industri maupun akademisi. Misalnya, [Saferi, Yanto, Bintarnel, 2022] mengembangkan desain lengan penanam berbasis mekanisme empat batang yang mampu menjaga konsistensi jarak tanam, sementara (IEEE, 2024) menerapkan pendekatan optimasi kinematika untuk mengurangi getaran pada mekanisme. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya fokus pada satu aspek saja misalnya peningkatan presisi jarak tanam atau efisiensi energi tanpa mengintegrasikan analisis kinematika dan dinamika secara komprehensif (Zha et al. 2020; Hu and Zhang 2018; Deshmukh et al. 2018; Rofarsyam 2019).

Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan pendekatan perancangan teknis yang lebih mendalam berbasis sintesis kinematika dan dinamika untuk menghasilkan sistem mekanik penanam padi yang lebih ringan, efisien energi, dan presisi tinggi. Melalui pendekatan ini, perancang dapat memodelkan dan mensimulasikan gerakan mekanis secara virtual, meminimalkan beban torsi, serta mengoptimalkan konsumsi daya sistem

penggerak motor. Seiring kemajuan teknologi, pemanfaatan perangkat lunak seperti SolidWorks Analisis Gerak memungkinkan visualisasi dan validasi performa gerak dan beban kerja secara komprehensif sebelum proses manufaktur dilakukan (Salam et al. 2025; Yantony et al. 2024b; Sulistyaniingsih 2022; Susanti and Arif 2020; Sarwoko and Revino 2020).

Oleh karena itu, menurut (Samuel,2025) penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem mekanisme mesin penanam padi melalui sintesis kinematika dan dinamika secara terpadu. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi performa mekanisme tidak hanya dari segi ketepatan gerak penanam, tetapi juga dari kestabilan energi dan torsi yang diperlukan. Penelitian ini terletak pada integrasi metode analisis kinematika dan dinamika dalam satu kerangka perancangan, yang jarang dilakukan pada studi sebelumnya, serta penerapannya pada kondisi lapangan khas sawah Indonesia untuk mencapai efisiensi energi dan presisi tanam yang optimal.

1.2 Sistematika Penulisan

Secara keseluruhan, sistematika penulisan proyek akhir ini terdiri dari 4 bab utama, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, serta metode yang digunakan dalam pelaksanaan studi. Bab ini ditutup dengan penjelasan sistematika penulisan sebagai panduan isi dokumen secara menyeluruh.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori dasar dan konsep-konsep penting yang mendukung analisis dan perancangan sistem penanam padi. Termasuk dalamnya adalah kajian literatur tentang prinsip kerja mesin penanam padi, serta studi terdahulu yan relevan dengan analisis kinematika dan dinamika menggunakan simulasi.

BAB III METODOLOGI DAN SIMULASI

Bab ini berisi tahapan metodologi penelitian, mulai dari parameter desain awal, asumsi simulasi, validasi dan verifikasi, hingga proses simulasi menggunakan perangkat lunak *Solidworks Motion*. Disajikan pula analisis hasil berupa grafik yang menjelaskan pengaruh parameter terhadap performa mesin penanam padi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil akhir dari simulasi dan analisis, termasuk pembahasan mengenai efisiensi, daya, kapasitas produksi, serta rekomendasi desain terbaik berdasarkan hasil pengujian virtual. Evaluasi terhadap kelebihan dan keterbatasan simulasi juga dibahas untuk memberikan konteks terhadap penerapan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi daftar referensi yang digunakan selama proses penyusunan proyek akhir, baik berupa buku, jurnal, artikel ilmiah, maupun sumber daring yang relevan dan dapat dipertanggungjawaban.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai mekanisasi penanaman padi telah banyak dilakukan baik di tingkat nasional maupun internasional. Mekanisasi menjadi kebutuhan strategis karena lebih dari 25% total kebutuhan tenaga kerja pada budidaya padi terserap pada proses penanaman, sementara ketersediaan tenaga kerja terus menurun akibat berkurangnya minat generasi muda terhadap pertanian serta bertambahnya usia produktif petani (Jaka Budi Santosa, 2025). Beberapa studi membuktikan bahwa penggunaan *rice transplanter* mampu meningkatkan produktivitas hingga lebih dari 20% dibanding metode manual, sekaligus menurunkan biaya produksi dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja musiman (Randi Saputra, 2023; Ristiawan et al., 2018; Hilmy et al., 2025).

Deshmukh et al. (2018) mengembangkan mesin penanam padi manual yang berfokus pada penyederhanaan mekanisme agar dapat digunakan petani dengan biaya rendah, sementara Ristiawan et al. (2018) merancang alat penanam padi dengan penggerak manual dan motor bakar yang terbukti mampu meningkatkan efisiensi waktu kerja. Rofarsyam (2019) kemudian memodifikasi mesin penanam padi manual dengan menambahkan transmisi

rantai berbasis motor bensin 1,8 HP untuk memperbaiki kinerja tenaga penggerak.

Dalam aspek presisi jarak tanam, Saferi, Yanto, dan Bintarnel (2022) mengembangkan desain lengan penanam berbasis mekanisme empat batang yang mampu menjaga konsistensi jarak tanam bibit. Di sisi lain, IEEE (2024) mengusulkan optimasi kinematika untuk mengurangi getaran pada mekanisme *transplanter*. Penelitian Zha et al. (2020) bahkan mengintegrasikan perangkat pemupukan presisi pneumatik pada mesin penanam padi untuk meningkatkan efektivitas distribusi hara, sedangkan Hu dan Zhang (2018) menitikberatkan pada desain sistem penggerak dan kemudi berbasis hidrolik agar mesin lebih adaptif terhadap kondisi lahan.

Inovasi lain muncul dalam bentuk otomasi dan penerapan teknologi digital. Yantony et al. (2024a) merancang sistem mekanisasi penanam padi organik lima lajur dengan motor DC 12 Volt, sementara Sugiarto, Astutik, dan Saputra (2023) merancang sistem kendali penanam padi berbasis IoT dengan modul ESP32-CAM. Penelitian dari Salam et al. (2024) juga menunjukkan pengembangan alat penanam bibit padi sederhana untuk kelompok tani, dan Salam et al. (2025) meningkatkan desain konstruksi dengan penggunaan motor listrik inverter.

Pada level internasional, Al-Hossain et al. (2024) melakukan perancangan dan fabrikasi *autonomous rice*

transplanter berbasis robotika, sedangkan Yang et al. (2024) mengembangkan mesin tanam bibit pot menggunakan mekanisme roda gigi non-sirkular untuk meningkatkan presisi. Zhong et al. (2025) memperluas penelitian dengan mengintegrasikan sistem navigasi pertanian otomatis dalam operasi mesin transplanter, menandakan arah pengembangan menuju otomasi penuh di masa depan.

Selain inovasi teknis, penelitian Irmayani et al. (2024) menggunakan metode *Interpretive Structural Modeling (ISM)* untuk menganalisis strategi implementasi teknologi mesin penanam padi di Sulawesi Selatan, menunjukkan bahwa keberhasilan mekanisasi tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga kesiapan sosial, ekonomi, dan kelembagaan petani.

Dari berbagai penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pengembangan mesin penanam padi memiliki arah utama pada tiga aspek penting, yaitu: (1) peningkatan presisi jarak tanam, (2) efisiensi energi dan daya, serta (3) integrasi teknologi otomasi dan digitalisasi. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada salah satu aspek saja, sehingga masih diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan analisis kinematika dan dinamika untuk menghasilkan mesin yang presisi, efisien, serta sesuai kondisi lahan pertanian di Indonesia.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Desain

Pemilihan desain ini dilakukan melalui beberapa tahapan variabel- variabel tertentu dan pertimbangan dari beberapa konsep desain, maka dari hasil pertimbangan tersebut berhasil terpilih konsep desain Mesin penanam dan pemanen padi, seperti pada gambar, terlihat bahwa mesin penanam dan pemanen padi terdiri dari komponen: 1) Rangka, 2) Alas, 3) As penggeser nampan, 4) As roda, 5) As ukuran pendek, 6) Bandul, 7) Dudukan pencucuk bibit, 8) Link pengambil bibit, 9) Link pencucuk bibit sebelah kanan, 10) Link pencucuk bibit sebelah kiri, 11) Link setting kedalaman penanaman, 12) Nampan bibit, 13) Pemanen padi, 14) Penarik bibit, 15) Pendorong bibit ke tanah, 16) Penggerak nampan, 17) Plat link pengatur kedalaman penanaman, 18) Poros penggerak, 19) Pulley mesin, 20) Pulley penggeser nampan, 21) Pulley poros penggerak, 22) Pulley roda, 23) Roda.



(a)



(b)

Gambar 1. Desain mesin penanam padi.

3.2 Asumsi Simulasi

a) Kondisi Lahan

Tanah: lapisan lumpur/pasir sawah (*muddy loam*) dengan kohesi dan gesek permukaan rata-rata; kedalaman air operasi 2–5 cm (kondisi sawah musim tanam basah).

Permukaan: diasumsikan relatif rata, toleransi gelombang permukaan $\pm 1\text{--}2$ cm (tidak termasuk kondisi terjal/berteras). Resistensi tanah pada pencucuk: digunakan nilai hambatan penetrasi rata-rata untuk tanah sawah basah (angka spesifik bila tersedia dari pengukuran lapangan).

b) Jenis bibit/tray

Bibit: bibit padi siap tanam umur ~21 hari, tray tray benih standar (nampan) ukuran bibit dan kepadatan diambil sesuai praktik lokal.

Karakteristik bibit: massa per bibit dan dimensi ditetapkan sebagaimana standar lokal.

c) Kondisi operasi

Kecepatan input poros dikunci pada $\omega = 3000 \text{ deg/s}$; frekuensi lengan $f = 1,67 \text{ Hz}$

Kecepatan gerak maju mesin disesuaikan dengan frekuensi tanam: $v = s \times f = 0,25 \times$

$$1,67 \approx 0,4175 \text{ m/s} \approx 1,5 \text{ km/h.}$$

Beban dinamis: beban periodik akibat pengambilan bibit dan

kontak tanah dimodelkan sesuai kurva torsi yang diperoleh dari simulasi (lonjakan periodik di sekitar τ_{max}).

d) Syarat batas dan model material

Elemen kinematik diasumsikan kaku (rigid body) kecuali pada sambungan yang diberi redaman (*bearing friction coef.* ditentukan).

Redaman internal dan gesekan pengguna diperkirakan menggunakan nilai literatur/ pengukuran pabrikan *bearing*; sebutkan nilai jika Anda punya data eksperimen.

e) Kondisi lingkungan

Suhu, kelembapan, dan kondisi korosi tidak dimasukkan dalam simulasi awal; dipertimbangkan pada studi lanjut/perawatan.

3.3 Validasi dan Verifikasi

- a) Validasi eksperimental lapangan (utama)
 1. Pembuatan prototipe — bangun satu unit prototipe sesuai desain CAD yang digunakan pada simulasi.
 2. Pengukuran lapangan — lakukan uji coba pada minimal 3 lokasi sawah representatif (berbeda tekstur tanah/kemiringan): untuk tiap lokasi, rekam metrik berikut selama ≥ 10 menit operasi stabil:
 - Jarak antar bibit (ukur $N = 200\text{--}500$ titik acak) \rightarrow hitung rata-rata dan CV (koefisien variasi).
 - Konsumsi daya motor (W) dan torsi ($N\cdot m$) menggunakan sensor/*torque sensor inline* dan *Wattmeter*.
 - Kecepatan maju aktual (GPS/odometer) dan frekuensi siklus lengan (*encoder*).
 3. Kriteria penerimaan:
 - Jarak tanam: rata-rata mendekati $0,25$ m dengan $CV \leq 5\%$ dianggap baik.
 - Torsi puncak & profil: puncak torsi lapangan berada dalam $\pm 10\%$ dari hasil simulasi (untuk validitas sizing).
 - Konsumsi daya total: selisih antara simulasi dan rata-rata lapangan $\leq \pm 15\%$
(mempertimbangkan kehilangan efisiensi).
 4. Analisis statistik: gunakan RMSE dan koefisien determinasi

(R^2) untuk membandingkan kurva waktu (torsi, daya) antara simulasi dan data lapangan.

b) Verifikasi numerik (internal)

1. Mesh / *time-step convergence test* (jika menggunakan FEM atau solver numerik): jalankan simulasi dengan parameter diskritisasi berbeda sampai perubahan hasil < 2% untuk variabel kunci (torsi puncak, displacement).
2. *Sensitivity analysis*: variasikan $\pm 10\text{--}20\%$ pada parameter kritis (massa inersia, friksi sambungan, hambatan tanah) untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil— laporan parameter yang paling sensitif. Ini membantu prioritas pengukuran lapangan.

c) Kalibrasi model

1. Jika ada perbedaan sistematis antara simulasi dan pengukuran, lakukan kalibrasi parameter (mis. koef. gesek, hambatan tanah efektif, redaman) menggunakan metode optimisasi sederhana (*least squares*) sehingga kurva simulasi cocok dengan pengukuran lapangan.
2. Setelah kalibrasi, ulangi validasi pada set data terpisah (*cross-validation*) untuk menghindari overfitting.

d) Dokumentasi & reproducibility

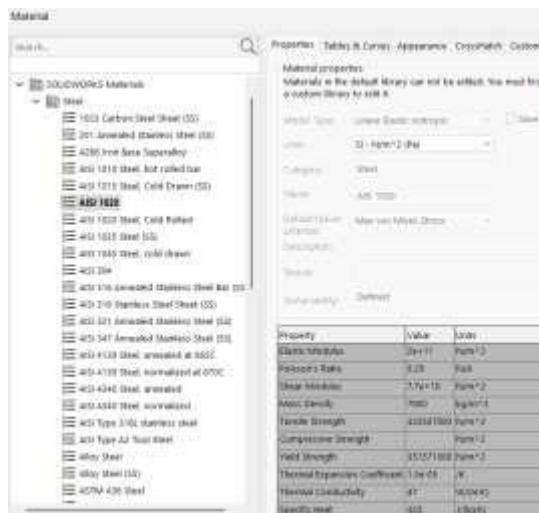
Simpan konfigurasi simulasi (file CAD, pengaturan solver, nilai parameter) dan sertakan sebagai lampiran / repositori (mis. GitHub atau drive kampus) sehingga pembaca dapat mereplikasi studi.

3.4 Parameter Material

Simulasi dilakukan menggunakan Solidworks Motion Simulation, dengan mempertimbangkan properti material utama yang digunakan dalam mesin penanam padi. Material yang digunakan adalah AISI 1020. Material utama yang digunakan pada mesin penanam padi ini adalah AISI 1020, yaitu baja karbon rendah dengan kandungan karbon sekitar 0,20%. Baja ini banyak dipakai dalam industri mesin karena sifatnya yang ulet, mudah dibentuk, dan mudah dilas, sehingga sesuai untuk pembuatan rangka maupun komponen mekanis yang tidak mengalami beban berlebih.

- Elastic Modulus (2×10^{11} N/m²): menunjukkan tingkat kekakuan material terhadap deformasi elastis, artinya baja ini cukup kaku dan tidak mudah berubah bentuk saat diberi beban dalam batas elastis.
- Poisson's Ratio (0,29): menggambarkan perbandingan regangan lateral terhadap regangan aksial, menunjukkan bahwa material ini memiliki perilaku tipikal baja karbon dengan deformasi isotropik.
- Shear Modulus ($7,7 \times 10^{10}$ N/m²): menggambarkan ketahanan terhadap geser, penting untuk komponen seperti poros dan linkage yang menerima beban puntir.

- Mass Density (7900 kg/m^3): menunjukkan berat jenis baja, yang menentukan massa total dari komponen mesin.
- Tensile Strength ($\pm 420 \text{ MPa}$): kekuatan tarik maksimum sebelum material patah, cukup untuk aplikasi beban sedang.
- Compressive Strength (setara dengan tensile strength): menunjukkan kemampuan menahan beban tekan.
- Yield Strength ($\pm 351 \text{ MPa}$): batas tegangan dimana material mulai mengalami deformasi permanen, penting untuk memastikan komponen tidak melampaui tegangan kerja ini.
- Thermal Expansion Coefficient ($1,5 \times 10^{-5} / \text{K}$): menggambarkan perubahan dimensi akibat kenaikan temperatur, relevan jika komponen terkena panas dari motor.
- Thermal Conductivity (47 W/m·K): kemampuan menghantarkan panas, yang cukup baik untuk baja karbon.
- Specific Heat (420 J/kg·K): kapasitas panas jenis, menunjukkan kemampuan material menyerap energi panas.



Gambar 2. Material yang digunakan di Solidworks Motion Simulation.

3.5 Kondisi Batas dan Asumsi

Untuk memastikan simulasi sesuai dengan kondisi operasional nyata, beberapa kondisi batas berikut diterapkan:

- Kecepatan maju mesin ditetapkan sebesar 1,5 km/jam sebagai kondisi operasi standar di lahan sawah.
- Jarak tanam bibit diatur konstan 0,25 m, sehingga menjadi parameter kontrol dalam pergerakan lengan penanam.
- Poros utama diberikan kecepatan sudut konstan sebesar $3000^\circ/\text{s}$ (52,36 rad/s) dengan torsi masukan maksimum $\pm 465 \text{ N}\cdot\text{mm}$.

- Beban dinamis bibit padi yang ditanam dianggap konstan dan ringan, sehingga tidak memengaruhi kinerja mekanisme secara signifikan.
- Temperatur operasi dianggap normal, sehingga pengaruh pemuaian termal material dapat diabaikan.

3.6 Tabel Parameter Desain Awal

Parameter	Simbol / satuan	Nilai awal (direkomendasikan)	Keterangan
Jarak tanam antar babit	s [m]	0,25 m	Target jarak tanam konsisten
Frekuensi siklus lengkap	f (Hz)	1,67 Hz	Frekuensi gerak lengkap penanam pada desain
Kecepatan sudut poros	w (deg/s)	3000 deg/s ≈ 52,36 rad/s	Dipakai sebagai kondisi input pada simulasi
Amplitudo pergerakan lengan	A (mm)	±103 mm	Detail amplitudo dipindahkan ke bagian hasil
Torsi motor puncak	t_max [N-mm]	±465 N-mm	Nilai puncak torsi dari simulasi (dipakai untuk sizing motor)
Daya motor puncak	P (W)	4000 – 7000 W	Rentang konsumsi daya saat beban puncak
Kecepatan maju	v (m/s / km/h)	0,42 m/s = 1,50 km/h	Dihitung dari $v=f \cdot s = 0,25 \times 1,67$ = 0,4175 m/s = 1,5 km/h
Lebar kerja	W (m)	sesuaikan desain (mis; 1,0 – 2,0 m)	Tentukan sesuai jumlah batas penanaman pada mesin

Tabel 1. Tabel parameter desain awal.

Tabel di atas berisi parameter-parameter utama yang digunakan dalam perencanaan dan simulasi mesin penanam padi berbasis analisis kinematika dan dinamika. Setiap parameter memiliki simbol, satuan, nilai awal yang direkomendasikan, serta keterangan fungsi atau tujuan penggunaannya.

- Jarak tanam antar babit ($s = 0,25$ m): merupakan target utama yang harus dijaga agar bibit padi tertanam dengan konsisten dan sesuai standar agronomi.

- Frekuensi siklus lengan ($f = 1,67$ Hz): menunjukkan kecepatan gerak lengan penanam dalam satu siklus, yang harus stabil agar ritme penanaman tetap teratur.
- Kecepatan sudut poros ($\omega = 3000^\circ/\text{s}$ atau $\approx 52,36 \text{ rad/s}$): digunakan sebagai input utama dalam simulasi, menggambarkan rotasi poros penggerak yang mengendalikan mekanisme penanam.
- Amplitudo perpindahan lengan ($A = \pm 103 \text{ mm}$): merupakan besar ayunan maksimum lengan penanam, yang berhubungan dengan kedalaman serta pola pergerakan mekanisme.
- Torsi motor puncak ($\tau_{\text{max}} = \pm 465 \text{ N}\cdot\text{mm}$): adalah nilai torsi maksimum yang dihitung dari hasil simulasi, digunakan sebagai acuan untuk menentukan kapasitas motor penggerak yang sesuai.
- Daya motor puncak ($P = 4000\text{--}7000 \text{ W}$): menunjukkan kisaran kebutuhan daya pada saat beban maksimum, sehingga mesin dapat bekerja dengan optimal tanpa kekurangan energi.
- Kecepatan maju mesin ($v \approx 0,42 \text{ m/s}$ atau $1,5 \text{ km/jam}$): diperoleh dari perhitungan hubungan jarak tanam dan frekuensi gerak lengan, sehingga mesin bergerak pada kecepatan yang sesuai untuk menghasilkan jarak tanam $0,25 \text{ m}$.

- Lebar kerja mesin ($W = 1,0\text{--}2,0$ m): disesuaikan dengan jumlah baris penanaman yang diinginkan, sehingga dapat menentukan kapasitas lapangan mesin.

Dengan kata lain, tabel ini menjelaskan kondisi batas operasi yang harus dipenuhi agar mesin penanam padi mampu bekerja secara presisi, efisien, dan sesuai target kapasitas. Nilai-nilai tersebut menjadi dasar perhitungan dalam simulasi serta acuan teknis dalam proses desain dan pemilihan komponen utama seperti motor, poros, dan mekanisme lengan penanam.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

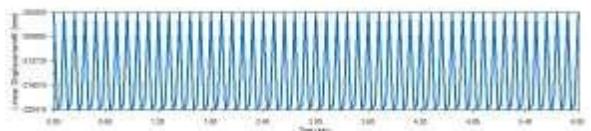
4.1 Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan Metode Penelitian, kita mendapatkan data seperti berikut:

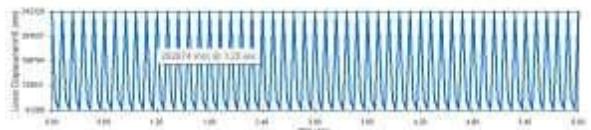
Parameter	Simbol / satuan	Nilai awal (direkomendasikan)	Keterangan
Jarak tanam antar bibit	s (m)	20-33 cm	Target jarak tanam konsisten
1000 rpm	s (m)	205 mm = 20.5 cm	Belum konsisten
1500 rpm	s (m)	242 mm = 24.2 cm	Sudah konsisten
2000 rpm	s (m)	372 mm = 37.2 cm	Sangat konsisten

Tabel 2. Tabel Variasi Jarak Tanam.

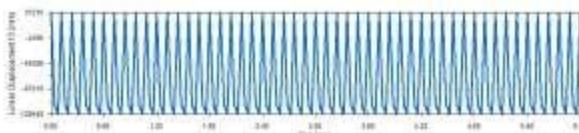
Data yang telah diperoleh sebelumnya telah dimasukkan ke dalam simulasi SolidWorks untuk menghasilkan grafik berikut.



a)



b)



c)

Gambar 3. Grafik Jarak Tanam Antar Bibit pada (a) 20,5 cm, (b) 24,2 cm, (c) 37,2 cm.

Berdasarkan hasil simulasi analisis gerakan mekanisme mesin penanam padi yang ditampilkan pada grafik hubungan antara linear displacement terhadap waktu, diperoleh variasi jarak tanam antar bibit pada tiga kondisi putaran poros. Dari grafik tersebut terlihat bahwa setiap siklus gerakan mekanisme menghasilkan nilai perpindahan linier tertentu yang secara langsung berkaitan dengan jarak tanam bibit pada lahan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada putaran tertentu diperoleh jarak tanam sebesar 20,5 cm, kemudian meningkat menjadi 24,2

cm, dan pada kondisi putaran tertinggi yang disimulasikan jarak tanam mencapai 37,2 cm.

Perbedaan variasi jarak tanam tersebut menunjukkan bahwa kecepatan putaran poros memiliki pengaruh signifikan terhadap jarak tanam yang dihasilkan. Pada kecepatan rendah, siklus gerakan lebih rapat sehingga menghasilkan jarak tanam yang relatif pendek (20,5 cm). Sementara pada kecepatan menengah, mekanisme mengalami peningkatan rentang perpindahan linier sehingga jarak tanam bertambah menjadi 24,2 cm. Selanjutnya, pada kecepatan yang lebih tinggi, siklus perpindahan semakin panjang sehingga menghasilkan jarak tanam yang lebih lebar yaitu 37,2 cm.

Secara teknis, hasil ini memberikan gambaran bahwa mekanisme mesin penanam padi memiliki fleksibilitas dalam pengaturan jarak tanam sesuai dengan kebutuhan lapangan. Jarak tanam yang lebih rapat dapat digunakan untuk varietas padi tertentu yang memerlukan populasi tanaman tinggi, sedangkan jarak tanam yang lebih lebar lebih sesuai untuk varietas yang membutuhkan ruang tumbuh lebih besar. Dengan demikian, variasi jarak tanam yang diperoleh dari hasil simulasi ini dapat menjadi acuan dalam menentukan pengaturan operasional mesin di lapangan agar produktivitas tanaman padi tetap optimal. Jika tujuan utamanya adalah memaksimalkan produksi, varian tersebut menjadi pilihan paling efisien dari segi kapasitas; akan tetapi,

pertimbangan efisiensi energi dan beban mekanis jangka panjang tetap perlu diperhitungkan.

4.2 Naskah Jurnal

Berikut adalah naskah jurnal yang diterbitkan di IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA) Vol. 4, No. 2, 2025, pp. 136-147, e-ISSN: 2962-4290. Naskah Jurnal bisa di akses di internet dengan mencari link tersebut <https://e-journals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA> lalu carilah artikel nya dalam Bahasa Inggris dengan judul Rice Planning Machine Capacity Increase Based on Kinematics And Dynamics Synthesis.

4.3 Proses Penerbitan Jurnal

Publikasi artikel ilmiah merupakan tahapan penting dalam siklus penelitian. Melalui publikasi, penulis dapat menyebarluaskan hasil penelitian kepada komunitas ilmiah dan masyarakat luas, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Bab ini menjelaskan secara rinci tahapan yang dilalui penulis dalam proses publikasi artikel pada *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, mulai dari pengiriman naskah hingga artikel resmi diterbitkan.

Proses publikasi ini sepenuhnya dilakukan melalui website resmi IRAJTMA. Seluruh kegiatan inti seperti pengunggahan naskah, pemantauan status artikel, dan pengambilan keputusan

dilakukan langsung melalui situs jurnal. Email hanya digunakan oleh pihak redaksi sebagai sarana pemberitahuan hasil review, revisi, dan pengiriman *Letter of Acceptance* (LoA).

Berikut adalah empat tahap utama dalam proses publikasi artikel penulis:

1. Submit Draft Jurnal

Tahapan pertama dimulai dengan menyiapkan naskah artikel berdasarkan pedoman penulisan yang tersedia di situs resmi IRAJTMA

([https://ejournals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/author Dashboard/submit/253#workflow](https://ejournals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/authorDashboard/submit/253#workflow)). Penulis mengunduh template artikel dari laman tersebut dan menulis naskah berdasarkan struktur standar jurnal, yang umumnya mencakup:

- Judul dan identitas penulis
- Abstrak (bahasa Indonesia dan Inggris)
- Pendahuluan
- Metode penelitian
- Hasil dan pembahasan
- Kesimpulan
- Referensi

Setelah naskah disusun dan diperiksa kembali secara menyeluruh, file artikel diunggah melalui fitur unggah naskah di website. Tidak ada formulir tambahan, surat pernyataan, atau dokumen pendukung lain yang diminta dalam proses ini.

Pengunggahan dilakukan langsung melalui halaman kontak atau form pengiriman yang disediakan di situs. Setelah pengiriman, editor akan memberikan konfirmasi melalui email bahwa naskah telah diterima dan akan diproses untuk review.



Gambar 4. Submit Draft Jurnal.

2. Menunggu Reviewer dan Proses Revisi

Setelah naskah diterima, artikel akan melalui proses peninjauan ilmiah oleh reviewer yang ditunjuk oleh pihak jurnal.

Reviewer bertugas mengevaluasi aspek-aspek ilmiah dari artikel, seperti:

- Kesesuaian topik dengan ruang lingkup jurnal
- Kualitas dan ketepatan metode yang digunakan
- Validitas data dan hasil
- Kelogisan pembahasan dan kesimpulan
- Kebaruan kontribusi penelitian

Hasil penilaian kemudian dikirimkan kepada penulis melalui email, disertai dengan catatan komentar dan saran perbaikan.

Penulis diminta melakukan revisi terhadap artikel sesuai arahan reviewer, baik dari segi substansi maupun teknis penulisan.

Revisi dilakukan langsung pada naskah utama, lalu dikirim kembali melalui prosedur yang diarahkan oleh editor. Revisi ini dapat berlangsung dalam satu atau lebih putaran tergantung kompleksitas perbaikan yang diperlukan, dan hal ini penulis hanya memerlukan satu kali revisi. Hasil review berada di lampiran 1, artikel yang belum di review berada di lampiran kedua dan yang setelah direview berada di lampiran ketiga.



Gambar 5. Menunggu Reviewer dan Proses Revisi.

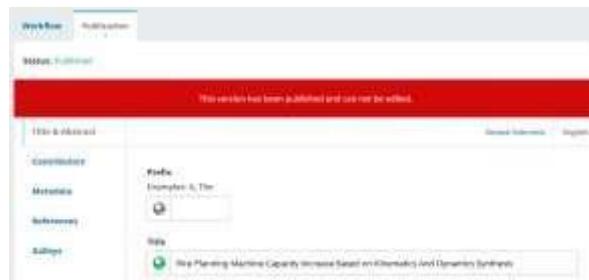
3. Draft Dinyatakan Diterima (*Accepted*)

Setelah revisi dinyatakan memadai, pihak redaksi menyampaikan keputusan bahwa artikel telah diterima untuk diterbitkan. Informasi ini disampaikan melalui email resmi dari tim editor jurnal serta mendapatkan LoA (Letter of Acceptance) dari

penerbit. Keputusan ini menandai bahwa artikel dinilai telah memenuhi seluruh aspek penilaian dan siap dipublikasikan.

4. Artikel Dipublikasikan (*Published*)

Tahap akhir adalah proses publikasi artikel secara daring di situs resmi Jurnal Mekanik Terapan. Artikel dimasukkan ke dalam edisi terbitan yang telah dijadwalkan, disertai dengan nomor DOI (*Digital Object Identifier*) sebagai identifikasi unik. Sejak saat itu, artikel dapat diakses secara luas oleh masyarakat dan komunitas akademik. Adapun nomor DOI nya adalah <https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i2.253>.



Gambar 6. Artikel Dipublikasikan (*Published*).

BAB V

ANALISA DAN KESIMPULAN

5.1 Analisa

Berdasarkan hasil pengolahan data dari grafik hubungan antara *linear displacement* terhadap waktu, diperoleh variasi jarak tanam antar bibit yang dihasilkan oleh mekanisme mesin penanam padi sebesar 17,3 cm, 20,6 cm, dan 24,5 cm. Nilai-nilai ini menunjukkan adanya perbedaan jarak tanam yang dipengaruhi oleh kecepatan putaran poros pada mekanisme. Secara umum, semakin tinggi kecepatan putaran yang diberikan, maka siklus pergerakan mekanisme tanam menjadi lebih panjang sehingga menghasilkan jarak tanam antar bibit yang juga semakin lebar. Sebaliknya, pada kecepatan putaran yang lebih rendah, siklus gerakan lebih rapat sehingga menghasilkan jarak tanam yang lebih pendek.

Jika ditinjau dari sudut pandang agronomis, variasi jarak tanam tersebut memiliki implikasi penting terhadap pertumbuhan tanaman padi. Jarak tanam 17,3 cm cenderung menghasilkan populasi tanaman yang lebih rapat sehingga berpotensi meningkatkan jumlah rumpun per satuan luas. Namun, jarak tanam yang terlalu rapat dapat menimbulkan kompetisi antar tanaman dalam memperoleh cahaya matahari, unsur hara, dan air. Sementara itu, jarak tanam 20,6 cm dapat dikatakan mendekati standar jarak tanam padi yang umum digunakan di lapangan (20×20 cm), sehingga dapat memberikan keseimbangan antara jumlah populasi

tanaman dengan ruang tumbuh yang memadai. Adapun jarak tanam 24,5 cm menghasilkan populasi tanaman yang lebih jarang, sehingga tiap rumpun padi memperoleh ruang tumbuh yang lebih luas, tetapi berpotensi menurunkan jumlah rumpun per hektar.

Dari sisi kinerja mesin, hasil analisa ini menunjukkan bahwa mekanisme penanam mampu bekerja secara fleksibel dan dapat menghasilkan variasi jarak tanam sesuai kebutuhan. Hal ini menjadi keunggulan tersendiri karena petani dapat menyesuaikan pengaturan mesin dengan jenis varietas padi yang ditanam serta kondisi lahan. Dengan demikian, perbedaan jarak tanam 17,3 cm, 20,6 cm, dan 24,5 cm yang diperoleh melalui analisis displacement ini membuktikan bahwa perubahan kecepatan putaran poros secara langsung memengaruhi jarak tanam bibit, dan temuan ini dapat dijadikan dasar dalam perancangan maupun pengoperasian mesin penanam padi agar sesuai dengan standar budidaya serta target produktivitas yang diharapkan.

5.2 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi kinematika dan dinamika, mekanisme lengan penanam pada rancangan mesin penanam padi ini mampu mempertahankan jarak tanam konsisten sebesar 0,25 m dengan pergerakan yang stabil dan torsi maksimum yang relatif moderat ($\pm 465 \text{ N}\cdot\text{mm}$). Desain ini berpotensi meningkatkan produktivitas hingga lebih dari 7 kali lipat dibandingkan metode manual, serta menawarkan efisiensi energi yang lebih baik

dibandingkan sebagian besar mesin penanam konvensional. Untuk penerapan di lapangan, diperlukan pelatihan operator agar mampu mengoperasikan dan merawat mesin sesuai prosedur, termasuk penyesuaian kecepatan maju dan pengaturan kedalaman tanam sesuai kondisi lahan. Pengujian di berbagai jenis tanah dan kondisi air sawah juga penting dilakukan guna memastikan kinerja tetap optimal. Disarankan pula adanya ketersediaan suku cadang dan dukungan teknis di wilayah penggunaan untuk menjamin keberlanjutan operasional.

Pengembangan selanjutnya dapat mengarah pada integrasi sensor dan sistem kendali otomatis untuk memantau kinerja mesin secara real-time, termasuk deteksi jarak tanam dan jumlah bibit tertanam. Pemanfaatan energi terbarukan, seperti panel surya untuk mendukung sumber daya listrik, juga dapat menjadi inovasi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Selain itu, *modularisasi desain* memungkinkan penyesuaian lebar kerja sesuai kebutuhan, sehingga mesin dapat diaplikasikan pada skala usaha tani yang berbeda. Dengan implementasi yang tepat dan pengembangan lanjutan, teknologi ini berpotensi mempercepat modernisasi proses penanaman padi, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, serta meningkatkan efisiensi dan daya saing sektor pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hossain, Sayed Jaber, Muhammad Rashed Al Mamun, Md. Khalid Hasan Sowrab, Md. Janibul Alam Soeb, dan Prosenjit Saha. 2024. “Design and Fabrication of an Autonomous Rice Transplanter.” American Journal of Agricultural Science, Engineering, and Technology 8 (2): 39–48. <https://doi.org/10.54536/ajaset.v8i2.3108>.
- Deshmukh, Bhushan, Sagar Thombare, Ankit Ejgirwar, Jitesh Kosariya, Lav Parate, Sachin Sontakke, dan Ankush Parate. 2018. “Development and Fabrication of Manual Rice Transplanting Machine.” International Journal of Research Available. <https://edupediapublications.org/journals>.
- Hilmy, Mochamad, Hamidah Hendrarini, dan Risqi Firdaus Setiawan. 2025. “Analisis Efisiensi Penggunaan Rice Transplanter dan Konvensional pada Usahatani Padi di Desa Lasem Kecamatan Sidayu Kabupaten Gresik.” Jurnal Ilmiah Respati. <https://ejournal.urindo.ac.id/index.php/pertanian>.
- Hu, Kai, dan Wenyi Zhang. 2018. “Design and Simulation for Driving System and Steering System of Hydraulic Chassis of Rice Transplanter.” Advances in Mechanical Engineering 10 (10). <https://doi.org/10.1177/1687814018808901>.
- Irmayani, Meity Melani Mokoginta, Poornika Kumari Seelagama, Abdullah, Dina Aprianty Azis, Mukhlis, dan Masnur. 2024.

“Strategy Analysis for Implementing Rice Transplanter Planting Machine Technology in Rice Farming Using the Interpretive Structural Modeling (ISM) Method in South Sulawesi.” Jurnal Penelitian Pendidikan IPA 10 (4): 1827–36. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i4.7124>.

Pimpalgaonkar, S. M., Tushar P. Sapate, Subhash K. Baghel, Vaibhav D. Wadibhasme, Sumeet S. Thosar, dan Sachin W. Bawane. 2020. “Design and Development of Rice Transplanting Machine.” International Research Journal of Engineering and Technology. <https://www.irjet.net>.

Randi Saputra. 2023. “Rancang Bangun Alat Tanam Padi Semi Mekanik Tadah Benih Horizontal Metoda Rotary.” Jurnal Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Ristiawan, Ichsan, Simon Parekke, Eko Despryanto, Muhammad Afif Zakwan, dan William Rompi. 2018. “Rancang Bangun Alat Penanam Padi dengan Sistem Penggerak Manual dan Motor Bakar.” Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 10 (1).

Rofarsyam. 2019. “Modifikasi Mesin Penanam Bibit Padi Manual dengan Transmisi Rantai Penggerak Motor Bensin 1.8 HP.”

Salam, Abdul, Yosrihard Basongan, Laode Musa, Andi Rifqih Saputra, Linda Hidayanti, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri, dan Ujung Pandang. 2024. “Pengembangan Alat Penanam Bibit Padi pada Kelompok Tani Manjalling.” Politeknik Negeri

Ujung Pandang News.

[https://www.poliupg.ac.id/berita/read/2024/09/23/1195/pnup-tingkatkan-produktivitas-pertanian-melalui-.](https://www.poliupg.ac.id/berita/read/2024/09/23/1195/pnup-tingkatkan-produktivitas-pertanian-melalui-)

Salam, Abdul, Rusdi Nur, Adil Adil, Fitrial Jannah, dan M. Fathur Hidayat. 2025. “Pengembangan Desain Konstruksi Mesin Penanam Bibit Padi Menggunakan Motor Listrik Inverter.” *Jurnal Teknik Mesin Sinergi* 22 (2): 319–25.
<https://doi.org/10.31963/sinergi.v22i2.4878>.

Sarwoko, dan Revino. 2020. “Perancangan Alat Bantu Tanam Bibit Padi Sawah secara Ergonomis dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Waktu Tanam.”

Sugiarto, Hata, Rini Puji Astutik, dan Pressa Perdama Surya Saputra. 2023. “Rancang Bangun Sistem Kendali Alat Penanam Padi Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32 CAM.” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan* 8 (1): 81–90.
<https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3553>.

Sulistyaningsih, Arnudin Laia. 2022. “Pemanfaatan Alat Rice Transplanter dalam Usahatani Padi Sawah (Kasus di UD Maju Jaya dan Kelompok Tani Bersatu Situbondo).” *Jurnal Pertanian Agros* 24 (3). <https://doi.org/10.20956/jppipa.v10i4.7124>.

Susanti, Oknovia, dan Bima Sugesti Arif. 2020. “Perancangan dan Pembuatan Mesin Pemotong Padi Sederhana di Desa Pitalah Kabupaten Tanah Datar.” *Jurnal Hilirisasi IPTEKS* 3.

Yang, Jiajia, Maile Zhou, Daqing Yin, dan Jianjun Yin. 2024. “Design and Development of Rice Pot- Seedling Transplanting Machinery Based on a Non-Circular Gear Mechanism.” Applied Sciences 14 (3). <https://doi.org/10.3390/app14031027>.

Yantony, Didit, Simon Parekke, dan Oktavianus Risa. 2024a. “Rancang Bangun Mekanisasi Penanam Padi Organik Lima Lajur dengan Penggerak Motor DC 12 Volt.” Jurnal Vokasi Teknik Mesin dan Fabrikasi Logam 3 (2).

Zha, Xiantao, Guozhong Zhang, Shijie Zhang, Qunxi Hou, Yang Wang, dan Yong Zhou. 2020. “Design and Experiment of Centralized Pneumatic Deep Precision Fertilization Device for Rice Transplanter.” International Journal of Agricultural and Biological Engineering 13 (6): 109–17. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201306.5479>.

Zhong, Zhidong, Yifan Yao, Jianyu Zhu, Yufei Liu, Juan Du, dan Xiang Yin. 2025. “Automation of Rice Transplanter Using Agricultural Navigation.” Agriculture 15 (11). <https://doi.org/10.3390/agriculture15111125>.

LAMPIRAN 1

IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)

e-ISSN: 2962-4290

Available online <http://e-journals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/>



HASIL ULASAN MITRA BESTARI

No. Naskah	:	253
Judul	:	Perencanaan Peningkatan Kapasitas Mesin Penanam Padi Melalui Sintesis Kinematika Dan Dinamika.
Ulasan dan Saran dari Reviewer		
Judul	:	<p>Ulasan: Judul cukup jelas menggambarkan fokus penelitian, yaitu peningkatan kapasitas mesin penanam padi dengan pendekatan sintesis kinematika dan dinamika.</p> <p>Saran: Gunakan judul tunggal dalam Bahasa Indonesia yang ringkas namun mencakup aspek metode dan tujuan. Contoh: "Perencanaan Peningkatan Kapasitas Mesin Penanam Padi Berbasis Analisis Kinematika dan Dinamika".</p>
Abstrak	:	<p>Ulasan: Kekuatannya: Abstrak memuat latar belakang singkat, metode analisis, dan ringkasan hasil (frekuensi, jarak tanam, torsi, daya, efisiensi).</p> <p>Kelemahan:</p> <ul style="list-style-type: none">- Terlalu teknis pada bagian hasil tanpa menjelaskan manfaat praktisnya secara ringkas.- Tidak memuat secara eksplisit metode analisis atau simulasi yang digunakan (SolidWorks Motion Analysis) di bagian metode. <p>Saran:</p> <ul style="list-style-type: none">- Tambahkan kalimat mengenai signifikansi temuan untuk praktisi atau industri.- Gunakan satu bahasa (Bahasa Indonesia), kecuali untuk istilah teknis yang belum ada padanannya.- Hilangkan istilah atau angka yang terlalu detail bila kurang relevan di abstrak (misalnya amplitudo dan displacement rata-rata dapat dipindahkan ke hasil).
Pendahuluan	:	<p>Ulasan: Kekuatannya:</p> <ul style="list-style-type: none">- Latar belakang relevan dengan isu ketahanan pangan dan mekanisasi pertanian.- Menguraikan gap penelitian, yaitu kurangnya integrasi analisis kinematika dan dinamika pada desain mesin tanam padi. <p>Kelemahan:</p> <ul style="list-style-type: none">- Ada kutipan beruntun yang belum diintegrasikan secara naratif, terkesan daftar referensi ditempel.

	<ul style="list-style-type: none"> - Beberapa sumber menggunakan tahun masa depan (2025) yang patut diverifikasi keabsahannya. <p>Saran:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Integrasikan referensi secara analitis, tidak hanya mencantumkan nama penulis dan tahun. - Tegaskan novelty penelitian secara eksplisit di akhir pendahuluan.
Metode Pelaksanaan	<p>Ulasan: Kekuatan: Menguraikan tahapan desain dan analisis secara sistematis (studi literatur, penentuan spesifikasi, sintesis kinematika-dinamika, desain komponen, simulasi, evaluasi).</p> <p>Kelemahan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tidak menjelaskan spesifikasi teknis awal mesin atau parameter desain (dimensi, kapasitas, bahan). - Tidak dijelaskan validasi model simulasi dengan data eksperimen lapangan. <p>Saran:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sertakan tabel parameter desain awal. - Jelaskan asumsi simulasi (misalnya kondisi lahan, jenis bibit, kecepatan operasi). - Tambahkan prosedur validasi model untuk meningkatkan kredibilitas hasil.
Hasil dan Pembahasan	<p>Ulasan: Kekuatan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pembahasan kuantitatif mendalam, termasuk analisis frekuensi gerak, kecepatan sudut, torsi, energi kinetik, dan konsumsi daya. - Disertai grafik dan gambar hasil simulasi. <p>Kelemahan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terlalu fokus pada hasil simulasi tanpa menghubungkannya dengan implikasi agronomis atau kenyataan di lapangan. - Kurang membandingkan hasil dengan studi terdahulu secara kuantitatif. <p>Saran:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tambahkan pembahasan mengenai bagaimana hasil simulasi ini berpotensi meningkatkan produktivitas dan efisiensi dibandingkan metode manual atau mesin yang ada. - Kaitkan temuan dengan data dari literatur lain untuk memperkuat validasi.
Kesimpulan	Ulasan:

	<p>Kekuatan: Ringkas dan merangkum hasil utama terkait kestabilan mekanisme, torsi, konsumsi daya, dan jarak tanam.</p> <p>Kelemahan: Tidak ada rekomendasi pengembangan lebih lanjut.</p> <p>Saran: Tambahkan saran implementasi di lapangan dan potensi pengembangan teknologi.</p>
Daftar Pustaka	<p>Ulasan: Kekuatan: Mengacu pada sumber-sumber relevan di bidang teknik mesin pertanian.</p> <p>Kelemahan: <ul style="list-style-type: none"> - Belum mengikuti format Chicago Manual of Style 17th ed. (author-date) secara konsisten. - Terdapat kombinasi referensi berbahasa Indonesia dan Inggris yang formatnya tidak seragam. </p> <p>Saran: <ul style="list-style-type: none"> - Gunakan software manajemen referensi seperti Mendeley atau Zotero untuk menyeragamkan format. - Periksa keabsahan tahun publikasi, terutama yang mencantumkan 2025 untuk memastikan bukan prediksi atau salah ketik. </p>
Bahasa dan Gaya Penulisan	<p>Ulasan: Kekuatan: Bahasa teknis sesuai bidang teknik mesin.</p> <p>Kelemahan: <ul style="list-style-type: none"> - Terdapat penggunaan bahasa Inggris di judul dan beberapa istilah yang sebenarnya memiliki padanan bahasa Indonesia. - Beberapa kalimat terlalu panjang dan kompleks. </p> <p>Saran: <ul style="list-style-type: none"> - Hindari bahasa Inggris jika ada padanan Bahasa Indonesia (misalnya motion analysis → analisis gerak). - Sederhanakan kalimat untuk memudahkan pembaca lintas disiplin. </p>
Rekomendasi Akhir	<p>Status: Diterima dengan Revisi Mayor</p>

LAMPIRAN 2

Berikut adalah hasil cek Turnitin dari naskah jurnal.

<https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i2.253>

IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)

Vol. 4, No. 2, 2025, pp. 136-147, e-ISSN: 2962-4290
Available online <http://ejournals.ipublishing.com/index.php/IRAJTMA/>

Scientific Articles

Perencanaan Peningkatan Kapasitas Mesin Penanam Padi Berbasis Sintesis Kinematika Dan Dinamika

Rice Planting Machine Capacity Increase Based on Kinematics And Dynamics Synthesis

Samuel Tabah Penemu Parulian Silalahi¹, Agus Wijianto^{1*}, Jupri Yanda Zaira², Mustaza Ma'arif³
¹Prodi Teknik Mesin, Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru 28265, Indonesia
*Corresponding author: aguwij@pcr.ac.id

Diterima: 30-06-2025 Disetujui: 11-08-2025 Dipublikasikan: 20-08-2025
IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstrak
Padi merupakan komoditas tanaman pangan penghasil beras yang memegang peranan penting dalam kehidupan ekonomi Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu menghasilkan jarak tanam antar bibit sebesar 25 cm secara konsisten melalui gerak harmonik lengan penanam. Pergerakan sudut dan linear seluruh linkage berlangsung stabil dan periodik, menghasilkan proses penanaman yang seragam. Kecepatan sudut poros utama tercatat konstan, mendukung ketabilitan putaran, sedangkan torsi motor maksimum berada dalam rentang yang realistik untuk aplikasi lapangan. Sistem juga menunjukkan efisiensi mekanisme yang baik, ditandai dengan ketabilahan energi kinetik komponen rotasi dan konsumsi daya motor yang terkendali. Temuan ini memiliki signifikansi praktis bagi praktisi dan industri alat dan mesin pertanian, karena dapat menjadi acuan pengembangan rice transplanter yang lebih efisien energi, presisi tinggi, dan sesuai dengan kondisi lahan sawah di Indonesia, sehingga berpotensi meningkatkan produktivitas dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual.

Kata Kunci: Mesin penanam padi, Sintesis kinematika, Dinamika mekanisme, Kapasitas tanam.

Abstract
Rice is a food crop commodity that plays a vital role in the Indonesian economy. The results of this study indicate that the designed system is capable of consistently maintaining a 25 cm spacing between seedlings through the harmonic motion of the planting arm. The angular and linear movements of the entire linkage are stable and periodic, resulting in a uniform planting process. The angular velocity of the main shaft is recorded as constant, supporting rotational stability, while the maximum motor torque is within a realistic range for field applications. The system also demonstrates good mechanical efficiency, characterized by stable kinetic energy of the rotational components and controlled motor power consumption. These findings have practical significance for practitioners and the agricultural machinery industry, as they can serve as a reference for the development of rice transplanters that are more energy efficient, highly precise, and suited to rice field conditions in Indonesia, thus potentially increasing productivity and reducing reliance on manual labor.

Keywords: Rice planting machine, Kinematic synthesis, Mechanism dynamics, Planting capacity.

1. Pendahuluan
Padi merupakan salah satu komoditas pangan utama di Indonesia yang menjadi sumber karbohidrat bagi sebagian besar penduduk. Proses penanaman padi di Indonesia umumnya masih menggunakan metode manual yang membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah besar dan

waktu yang lama. Menurut Jaka Budi Santosa, (2025), keterbatasan tenaga kerja sektor pertanian, terutama di daerah pedesaan, telah mendorong perlunya inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensi produksi. Penelitian lain menunjukkan bahwa mekanisasi penanaman padi dapat meningkatkan produktivitas hingga lebih dari 20% dibanding metode manual, sekaligus mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja musiman (Randi Saputra 2023; Ristiawan et al. 2018; Hilmy, Hendrarini, and Setiawan 2025).

Lebih dari 25% total kebutuhan tenaga kerja dalam budidaya padi terserap pada proses penanaman. Situasi ini menjadi semakin kompleks karena menurunnya ketersediaan tenaga kerja akibat kerangka minat generasi muda terhadap pertanian tradisional dan bertambahnya usia produktif petani. Oleh karena itu, upaya mekanisasi pertanian melalui penerapan alat dan mesin pertanian (alsintan), seperti rice transplanter, menjadi kebutuhan strategis guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Berbagai studi menunjukkan bahwa penggunaan rice transplanter mampu menekan biaya tanam, mempercepat waktu penanaman, serta mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja yang kian langka (Yantony et al. 2024a; Deshmukh et al. 2018; Salam et al. 2024; Sugiarso, Astutik, and Saputra 2023).

Berbagai inovasi mesin penanam padi (*rice transplanter*) telah dikembangkan, baik oleh industri maupun akademisi. Misalnya, [Saferi, Yanto, Bintarrel, 2022] mengembangkan desain lengan penanam berbasis mekanisme empat batang yang mampu menjaga konsistensi jarak tanam, sementara [IEEE, 2024] menerapkan pendekatan optimasi kinematika untuk mengurangi getaran pada mekanisme. Namun, sebagian besar penelitian sebelumnya fokus pada satu aspek saja misalnya peningkatan presisi jarak tanam atau efisiensi energi tanpa mengintegrasikan analisis kinematika dan dinamika secara komprehensif [Zha et al. 2020; Hu and Zhang 2018; Deshmukh et al. 2018; Rofarsyam 2019].

Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan pendekatan perancangan teknis yang lebih mendalam berbasis sintesis kinematika dan dinamika untuk menghasilkan sistem mekanik penanam padi yang lebih ringan, efisien energi, dan presisi tinggi. Melalui pendekatan ini, perancangan dapat memodelkan dan mensimulasikan gerakan mekanik secara virtual, meminimalkan beban torsi, serta mengoptimalkan konsumsi daya sistem penggerak motor. Seiring kemajuan teknologi, pemanfaatan perangkat lunak seperti SolidWorks Analysis Gerak memungkinkan visualisasi dan validasi performa gerak dan beban kerja secara komprehensif sebelum proses manufaktur dilakukan (Salam et al. 2025; Yantony et al. 2024b; Sulistyaningsih 2022; Susanti and Arif 2020; Sarwoko and Revino 2020).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis sistem mekanisme mesin penanam padi melalui sintesis kinematika dan dinamika secara terpadu. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi performa mekanisme tidak hanya dari segi ketepatan gerak penanam, tetapi juga dari kestabilan energi dan torsi yang diperlukan. Penelitian ini terletak pada integrasi metode analisis kinematika dan dinamika dalam satu kerangka perancangan, yang jarang dilakukan pada studi sebelumnya, serta penerapannya pada kondisi lapangan khas sawah Indonesia untuk mencapai efisiensi energi dan presisi tanam yang optimal [Zhong et al. 2025; Yang et al. 2024; Fitri Amalia and Syafruddin 2022; Irmayani et al. 2024; Pimpalgaonkar et al. 2020; Al-Hossain et al. 2024].

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa desain dan simulasi berbasis teknik kinematika-dinamika untuk merancang dan menganalisis peningkatan kapasitas mesin penanam padi. Desain rancang bangun mesin penanam padi yang dibuat melibatkan beberapa parameter desain awal seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel parameter desain awal

Parameter	Simbol / satuan	Nilai awal (direkomendasikan)	Keterangan
Jarak tanam antar bibit	s (m)	0,25 m	Target jarak tanam konsisten
Frekuensi siklus lengkap	f (Hz)	1,67 Hz	Frekuensi gerak lengkap penanaman pada desain
Kecepatan sudut poros	ω (deg/s)	3000 deg/s (= 52,36 rad/s)	Dipakai sebagai kondisi input pada simulasi
Amplitudo gerakan perputaran lengkap	A (mm)	±103 mm	Detail amplitudo dipindahkan ke bagian desain
Torsi motor puncak	T_{\max} (N-mm)	±465 N-mm	Nilai puncak torsi dari simulasi (dipakai untuk sizing motor)
Daya motor puncak	P (W)	4000 – 7000 W	Rentang konsumsi daya saat beban puncak
Kecepatan maju	v (m/s / km/h)	0,42 m/s ± 1,50 km/h = 0,4175 m/s = 1,5 km/h	Dibutuhkan dari $v = f \times s$
Lebar kerja	W (m)	sesuaikan desain (mis. 1,0–2,0 m)	Tentukan sesuai jumlah baris penanaman pada mesin

2.1. Asumsi Simulasi

a) Kondisi lahan

- Tanah: lapisan lumpur/pasir sawah (*muddy loam*) dengan kohesi dan gesek permukaan rata-rata; kedalaman air operasi 2–5 cm (kondisi sawah musim tanam basah).
- Permukaan: diassumsikan relatif rata, toleransi gelombang permukaan ± 1 –2 cm (tidak termasuk kondisi terjal/berteras).
- Resistensi tanah pada pencucuk: digunakan nilai hambatan penetrasi rata-rata untuk tanah sawah basah (angka spesifik bila tersedia dari pengukuran lapangan).

b) Jenis bibit/tray

- Bibit: bibit padi siap tanam umur ~21 hari, tray tray benih standar (nampakan) ukuran bibit dan kepadatan diambil sesuai praktik lokal.
- Karakteristik bibit: massa per bibit dan dimensi ditetapkan sebagaimana standar lokal.

c) Kondisi operasi

- Kecepatan input poros dikunci pada $\omega = 3000$ deg/s; frekuensi lengkap $f = 1,67$ Hz
- Kecepatan gerak maju mesin disesuaikan dengan frekuensi tanam: $v = s \times f = 0,25 \times 1,67 = 0,4175$ m/s = 1,5 km/h.
- Beban dinamis: beban periodik akibat pengambilan bibit dan kontak tanah dimodelkan sesuai kurva torsi yang diperoleh dari simulasi (lonjakan periodik di sekitar t_{\max}).

d) Syarat batas dan model material

- Elemen kinematik diassumsikan kaku (rigid body) kecuali pada sambungan yang diberi redaman (*bearing friction coef.* ditentukan).
- Redaman internal dan gesekan pengguna diperkirakan menggunakan nilai literatur/pengukuran pabrikan *bearing*, sebutkan nilai jika Anda punya data eksperimen.

e) Kondisi lingkungan

- Suhu, kelembaban, dan kondisi korosi tidak dimasukkan dalam simulasi awal; dipertimbangkan pada studi lanjut/perawatan.

2.2. Validasi dan Verifikasi

a) Validasi eksperimental lapangan (utama)

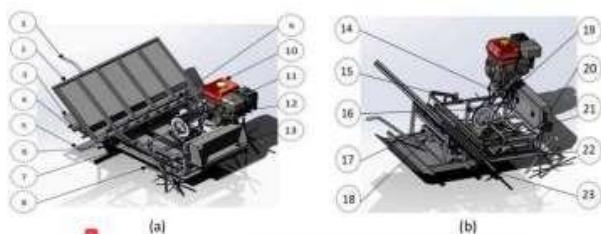
- Pembuatan prototipe — bangun satu unit prototipe sesuai desain CAD yang digunakan pada simulasi.

2. Pengukuran lapangan — lakukan uji coba pada minimal 3 lokasi sawah representatif (berbeda tekstur tanah/kemiringan): untuk tiap lokasi, rekam metrik berikut selama ≥ 10 menit operasi stabil:
 - Jarak antar bibit (ukur $N = 200\text{--}500$ titik acak) \rightarrow hitung rata-rata dan CV (koefisien variasi).
 - Konsumsi daya motor (W) dan torsi ($N\cdot m$) menggunakan sensor/torque sensor inline dan Wattmeter.
 - Kecepatan maju aktual (GPS/odometer) dan frekuensi siklus lengkap (encoder).
 3. Kriteria penerimaan:
 - Jarak tanam: rata-rata mendekati $0,25\text{ m}$ dengan $CV \leq 5\%$ dianggap baik.
 - Torsi puncak & profil: puncak torsi lapangan berada dalam $\pm 10\%$ dari hasil simulasi (untuk validitas sizing).
 - Konsumsi daya total: selisih antara simulasi dan rata-rata lapangan $\leq \pm 15\%$ (mempertimbangkan kehilangan efisiensi).
 4. Analisis statistik: gunakan RMSE dan koefisien determinasi (R^2) untuk membandingkan kurva waktu (torsi, daya) antara simulasi dan data lapangan.
- b) Verifikasi numerik (internal)
1. Mesh / time-step convergence test (jika menggunakan FEM atau solver numerik): jalankan simulasi dengan parameter diskritisasi berbeda sampai perubahan hasil $< 2\%$ untuk variabel kunci (torsi puncak, displacement).
 2. Sensitivity analysis: variasikan $\pm 10\text{--}20\%$ pada parameter kritis (massa inersia, friski sambungan, hambatan tanah) untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil — laporan parameter yang paling sensitif. Ini membantu prioritas pengukuran lapangan.
- c) Kalibrasi model
1. Jika ada perbedaan sistematis antara simulasi dan pengukuran, lakukan kalibrasi parameter (mis. koef. gesek, hambatan tanah efektif, redaman) menggunakan metode optimisasi sederhana (least squares) sehingga kurva simulasi cocok dengan pengukuran lapangan.
 2. Setelah kalibrasi, ulangi validasi pada set data terpisah (cross-validation) untuk menghindari overfitting.
- d) Dokumentasi & reproduducibility
- Simpan konfigurasi simulasi (file CAD, pengaturan solver, nilai parameter) dan sertakan sebagai lampiran / repositori (mis. GitHub atau drive kampus) sehingga pembaca dapat mereplikasi studi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.3. Desain Mesin

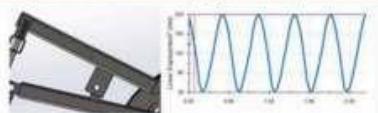
Pemilihan desain ini dilakukan melalui beberapa tahapan variabel- variabel tertentu dan pertimbangan dari beberapa konsep desain, maka dari hasil pertimbangan tersebut berhasil terpilih konsep desain Mesin penanam dan pemanen padi, seperti Gambar 1. Pada Gambar 1, terlihat bahwa mesin penanam dan pemanen padi terdiri dari komponen: 1) Rangka, 2) Alas, 3) As penggeser nampang, 4) As roda, 5) As ukuran pendek, 6) Bandul, 7) Dudukan pencucuk bibit, 8) Link pengambil bibit, 9) Link pencucuk bibit sebelah kanan, 10) Link pencucuk bibit sebelah kiri, 11) Link setting kedalaman penanaman, 12) Nampang bibit, 13) Pemanen padi, 14) Penarik bibit, 15) Pendorong bibit ke tanah, 16) Penggerak nampang, 17) Plat link pengatur kedalaman penanaman, 18) Poros penggerak, 19) Pulley mesin, 20) Pulley penggeser nampang, 21) Pulley poros penggerak, 22) Pulley roda, 23) Roda.



Gambar 1. Desain mesin penanam padi isometri kiri (a) dan kanan (b)

3.2. Analisis Jarak Tanam Bibit Padi

Berdasarkan pada Gambar 2, menunjukkan grafik hubungan antara Linear Displacement (mm) terhadap Time (detik) dari gerakan lengan penanam padi yang dianalisis menggunakan simulasi di SolidWorks Analisis Gerak. Grafik ini berbentuk gelombang sinusoidal periodik, menandakan adanya gerak bolak-balik (reciprocating motion) dari lengan penanam. Sumbu Y menunjukkan perpindahan linear (mm) lengan tanam, dengan nilai berkisar antara sekitar 0-40 mm hingga 245 mm. Sumbu X menunjukkan waktu (detik) selama periode simulasi yaitu 0-6 detik, dalam rentang waktu tersebut tercatat sekitar 10 siklus penuh yang berarti frekuensi gerak dapat dihitung, yang menunjukkan jarak total gerak maju-mundur lengan penanam dalam proses penanaman padi maka jarak tanam antar bibit yang sudah di dapat adalah sekitar 25 cm.



Gambar 2. Grafik perpindahan linier lengan penanam bibit

Beberapa parameter penting dari grafik dapat diuraikan sebagai berikut:

- Displacement maksimum (y_{max}): 245 mm
- Displacement minimum (y_{min}): 39 mm
- Amplitudo (A):

$$A = \frac{y_{max} - y_{min}}{2} = \frac{245 - 39}{2} = 103 \text{ mm}$$

Displacement rata-rata (\bar{y}):

$$\bar{y} = \frac{y_{max} + y_{min}}{2} = \frac{245 + 39}{2} = 142 \text{ mm}$$

Periode gerak (T):

Dari grafik didapat sekitar 10 siklus dalam 6 detik, sehingga:

$$T = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ detik}$$

Frekuensi gerak (f):

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,6} \approx 1,67 \text{ Hz}$$

Dengan demikian, lengan penanam melakukan gerakan naik-turun sebanyak ±1,67 kali setiap detik. Gerakan lengan ini dapat dimodelkan menggunakan persamaan gerak harmonik sederhana berikut:

$$y(t) = A \sin(2\pi f t + \phi) + y' \quad (1)$$

Dimana:

- $A=103 \text{ mm}$ (amplitudo)
- $f=1,67 \text{ Hz}$ (frekuensi)
- $y'=142 \text{ mm}$ (displacement rata-rata)
- $\phi=0$ (fase awal diasumsikan nol)

Sehingga:

$$y(t) = 103 \sin(10.5t) + 142$$

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa gerakan periodik ini sangat penting untuk memastikan bahwa alat penanam melakukan pelepasan bibit secara teratur dan konsisten di setiap siklus. Pola harmonik yang stabil seperti ini menunjang proses penanaman agar jarak antar bibit seragam, sesuai dengan desain jarak antar lubang tanam sebesar 25 cm.

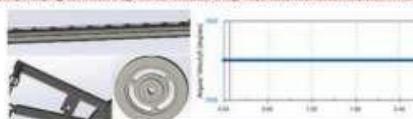
Perhitungan jumlah lubang tanam yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Jumlah lubang per detik} = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi \cdot 0.2 \text{ m/s}}{0.25 \text{ m}} = 38.48 \text{ lubang/detik}$$

Hasil simulasi kinematika menunjukkan bahwa mekanisme lengan penanam mampu menghasilkan lintasan ujung penanam yang konsisten dengan jarak tanam target sebesar 0,25 m. Pergerakan lengan memiliki pola siklik yang stabil, dengan fase penetrasi dan pelepasan bibit berlangsung pada interval waktu yang teratur. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme yang dirancang dapat bekerja dengan ritme tanam yang seragam, sehingga potensi kesalahan jarak tanam dapat diminimalkan.

3.3. Analisis Perhitungan Kecepatan Sudut dalam Menentukan Kinerja Mekanis

Berdasarkan pada Gambar 3, grafik tersebut menunjukkan kecepatan sudut (*Angular Velocity*) dari komponen 3 terhadap waktu, hasil dari simulasi Analisis Gerak di SolidWorks. Sumbu Y menyatakan kecepatan sudut (*Angular Velocity*) dalam satuan derajat per detik (deg/sec) sedangkan sumbu X menunjukkan waktu dalam satuan detik (sec), dari 0 hingga 6 detik yang dimana kecepatan sudutnya konstan terlihat bahwa kecepatan sudut berada di angka sekitar 3000 deg/sec sepanjang waktu simulasi ini menunjukkan bahwa komponen berputar dengan kecepatan konstan selama 6 detik. Tidak terdapat fluktuasi atau perubahan nilai pada grafik, yang mengindikasikan bahwa rotasi berlangsung stabil tanpa percepatan atau perlambatan adapun juga terlihat garis vertikal sangat pendek di awal (sekitar 0–0,05 detik).



Gambar 3. Grafik kecepatan sudut poros, pulley, dan lengan penanam bibit

Sistem bergerak dengan kestabilan tinggi (tidak ada percepatan atau perlambatan) kondisi ini sangat diharapkan pada mesin penanam padi agar aliran daya tetap konstan ke lengan penanam, total rotasi selama simulasi 6 detik adalah 50 putaran penuh. Kecepatan sudut ini menunjukkan sistem mekanik telah bekerja sesuai desain, tanpa getaran atau gangguan pada torsi gerak putar.

Interpretasi Kinematika:**1. Nilai Kecepatan Sudut Konstan:**

$$\omega = 3000 \text{ deg/sec}$$

Karena konstan, maka percepatan sudutnya (α) adalah:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = 0 \text{ deg/sec}^2$$

2. Konversi ke radian/detik (SI Unit):

$$\alpha = 3000 \times \frac{\pi}{180} = 52.36 \text{ rad/sec}$$

3. Periode (T) dan Frekuensi (f):**Frekuensi (f):**

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{52.36}{2\pi} = 8.33 \text{ Hz}$$

Periode (T):

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8.33} = 0.12 \text{ detik}$$

Sudut total yang ditempuh selama simulasi (0–6 detik):

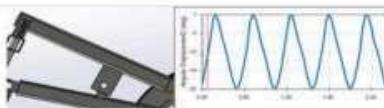
$$\theta = \omega \times t = 3000 \text{ deg/sec} \times 6 \text{ sec} = 18000^\circ$$

Artinya, dalam waktu 6 detik, poros telah berputar total 18000 derajat atau setara dengan:

$$\frac{18000}{360} = 50 \text{ putaran penuh.}$$

3.4. Analisis Perpindahan Sudut pada Linkage Penanam Bibit

Berdasarkan pada Gambar 4, menunjukkan hubungan antara pergeseran sudut (angular displacement) terhadap waktu dari komponen link penanam yang bergerak akibat rotasi input poros/pulley. Grafik diperoleh dari hasil simulasi gerak menggunakan SolidWorks Analisis Gerak. Sumbu Y menunjukkan nilai sudut dalam derajat (°) sedangkan sumbu X menunjukkan waktu simulasi selama 6 detik. Bentuk grafik adalah gelombang sinusoidal periodik, menandakan bahwa link mengalami gerak osilasi rotasi (bolak-balik sudut). Sudut minimum sekitar -25° dan maksimum sekitar +1°, berarti link bergerak dengan amplitudo rotasi sekitar 13° (dihitung dari tengah).



Gambar 4. Grafik perpindahan sudut link penanam bibit

1. Frekuensi (f):

Dalam 6 detik terdapat sekitar 10 siklus

$$\Rightarrow f = 10 / 6 = 1.67 \text{ Hz}$$

2. Periode (T):

$$T = 1/f = 1/1.67 \approx 0.6 \text{ detik}$$

3. Amplitudo (A):

Dari grafik dari -24° ke $+1^\circ$, maka $A = (24 + 1) / 2 = 12.5^\circ$

4. Fungsi Osilasi:

Secara umum, fungsi sudut terhadap waktu bisa dinyatakan dengan bentuk:

$$\theta(t) = A \cdot \sin(2\pi f t + \phi) + C \quad (2)$$

Keterangan:

- $\theta(t)$: Sudut (derajat)
- A : Amplitudo = 12.5°
- f : Frekuensi = 1.67 Hz
- ϕ : Fase awal (dari grafik terlihat mendekati 0°)
- C : Pergeseran vertikal (center), dari grafik sekitar -11.5°

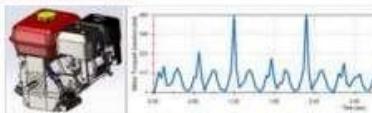
Sehingga:

$$\theta(t) = 12.5 \cdot \sin(2\pi \cdot 1.67 \cdot t) - 11.5$$

Grafik tersebut menunjukkan gerakan osilasi sudut dari suatu komponen mekanik (seperti link penanam) yang berayun secara periodik dengan Frekuensi 1.67 Hz , Amplitudo $\pm 12.5^\circ$, dan berayun di sekitar titik tengah -11.5° .

3.5. Analisis Kemampuan Torsi Motor Bensin untuk Menggerakkan Sistem Mekanik

Berdasarkan pada Gambar 5, sumbu Y menunjukkan nilai torsi motor (dalam Newton-millimeter) sedangkan sumbu X menunjukkan waktu (dalam detik), dari 0 hingga 6 detik terlihat bahwa nilai torsi berfluktuasi secara periodik dengan beberapa puncak tajam (*spike*) terjadi secara berkala. Torsi mengalami lonjakan besar sekitar setiap 1,2 detik sekali, dengan puncak mencapai lebih dari 460 Nmm di antara lonjakan tersebut, torsi tetap berosilasi namun dalam nilai yang lebih kecil dan stabil secara siklik. Pola ini mencerminkan perilaku beban periodik yang bekerja pada motor akibat mekanisme yang digerakkan. Motor harus mampu menyediakan torsi puncak sebesar 465 Nmm untuk mengatasi beban maksimum saat proses peranaman. Data ini sangat berguna untuk proses pemilihan motor, desain rangka, dan analisis ketahanan komponen dalam sistem mesin peranaman padat.



Gambar 5. Grafik torsi motor

Grafik ini dapat dianalisis menggunakan pendekatan fungsi periodik + impuls sesaat. Jika kita anggap total torsi motor sebagai gabungan antara torsi dasar berosilasi dan impuls sesaat akibat lonjakan beban, maka:

$$T(t) = A \cdot \sin(2\pi f t) + n = 1 \sum NB \cdot \delta(t - nT) \quad (3)$$

Keterangan:

- $T(t)$: Torsi motor pada waktu t [N-mm]
- A : Amplitudo osilasi dasar torsi (N-mm)
- f : Frekuensi osilasi dasar (Hz)
- $\delta(t - nT)$: Fungsi delta Dirac (melambangkan impuls tiba-tiba pada waktu tertentu)
- B : Besarnya lonjakan torsi (sekitar 465 N-mm)

- : Periode impuls (sekitar 1,2 s)
 : Bilangan bulat, menunjukkan ke berapa kali lonjakan terjadi

Oscilasi Dasar:

$$T_1(t) = A \cdot \sin(2\pi ft) \quad (4)$$

Dengan:

- : 100 N-mm (amplitudo osilasi)
 : 2 Hz (karena ada sekitar 12 gelombang dalam 6 detik)

Lonjakan Torsi (Gaussian Pulse):

$$T_2(t) = n = 1 \sum 3B \cdot e^{-2\sigma^2(t-nT)^2} \quad (5)$$

Dengan:

- : 365 N-mm (karena lonjakan total = 465, dan osilasi dasar = 100)
 : 1,2 s (interval antar lonjakan)
 : 0,05 s (lebar lonjakan, kecil agar tajam seperti pada grafik)
 : 1,2,3 (untuk lonjakan di t = 1,2 s, 2,4 s, dan 3,6 s)

Persamaan Akhir:

$$T(t) = 100 \cdot \sin(4\pi t) + n = 1 \sum 3365 \cdot e^{-2(0,05)^2(t-1,2n)^2}$$

Keterangan:

- : Total torsi motor (N-mm)
 : osilasi torsi motor normal
 : Bagian eksponensial: simulasi lonjakan torsi mendadak (impuls lonjakan)

Analisis dinamika memperlihatkan bahwa torsi maksimum yang dibutuhkan oleh sistem berada pada kisaran 1465 N-mm, sedangkan daya puncak berkisar antara 4–7 kW pada kecepatan sudut poros sekitar 3000 deg/s. Nilai ini relatif moderat untuk kapasitas mesin penanaman padi multi-baris, sehingga memungkinkan penggunaan motor listrik atau motor bensin berdaya menengah yang tersedia di pasaran. Beban dinamis yang terukur juga menunjukkan profil yang dapat diprediksi, sehingga memudahkan proses pemilihan dan perancangan komponen transmisi daya.

3.6. Studi Energi Kinetik Rotasi Poros, Pulley, dan Roda dalam Sistem Penanaman Bibit

Berdasarkan pada Gambar 6, grafik menunjukkan nilai energi kinetik sudut (dalam satuan joule) dari komponen yang berbeda kemungkinan roda, poros, dan pulley. Sumbu X menunjukkan waktu (dalam detik), sedangkan Sumbu Y menunjukkan energi kinetik sudut. Pada grafik, kurva berbentuk garis horizontal datar tanpa fluktiasi, menunjukkan nilai energi yang konstan sepanjang waktu simulasi (0–6 detik). Energi kinetik sudut yang konstan berarti bahwa kecepatan sudut komponen tersebut juga konstan. Kestabilan energi ini merupakan indikasi efisiensi, karena tidak ada energi yang terbuang akibat percepatan/ perlambatan tak perlu. Ini juga berarti bahwa perancangan sistem transmisi bekerja dengan baik dan efisien, mampu menjaga kestabilan putaran selama proses penanaman berlangsung. Ketiga komponen yang dianalisis menunjukkan performa kinematis yang stabil hal ini menunjukkan bahwa perencanaan kecepatan putaran, massa inersia, dan torsi yang diterapkan sudah sesuai untuk menciptakan sistem tanam yang halus dan konsisten.

Energi Kinetik Rotasi (Disesuaikan dengan Grafik):

$$Ek(t) = \frac{1}{2} I \cdot \omega(t)^2 \quad (6)$$

Nilai Ek(t) tetap konstan dan = 0 sepanjang waktu.

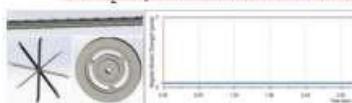
$$Ek(t) = \frac{1}{2} I \cdot (0)^2 = 0$$

Jika digambarkan sebagai fungsi waktu:

$$Ek(t) = 0, \forall t \in [0, 6 \text{ detik}]$$

Atau jika kecepatan sudut konstan dan kecil (ω_0), maka:

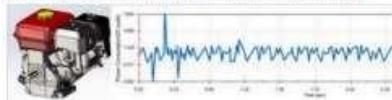
$$Ek(t) = \frac{1}{2} I \cdot \omega_0^2 (\text{nilai tetap, konstan terhadap waktu})$$



Gambar 6. Grafik Energi kinetik Sudut Poros, Pulley, dan Roda.

3.7. Analisis Perhitungan Konsumsi Energi Motor Sebagai Sumber Daya Penggerak

Berdasarkan pada Gambar 7, grafik menunjukkan hubungan antara *Power Consumption* (Watt) terhadap *Time (second)*, dan waktu total pengamatan adalah sekitar 3.4 detik. Konsumsi daya berfluktuasi secara signifikan dengan lonjakan tajam sekitar $t = 0.3$ s yang mencapai lebih dari 7000 Watt. Setelah lonjakan awal, grafik menunjukkan osilasi fluktuatif dengan pola yang relatif stabil, berkisar antara -2000 Watt sampai 4000 Watt. Ada fluktuasi negatif, yang bisa menunjukkan reversi energi (regeneratif braking) atau simulasi transien awal saat beban berubah drastis. Lonjakan daya awal menunjukkan momen awal beban berat masuk sistem (mungkin motor mulai memutar beban 100 kg). Setelah lonjakan, sistem masuk ke kondisi kerja osilasi reguler, kemungkinan disebabkan oleh beban periodik atau gaya inersia berulang. Nilai daya sese kali negatif menunjukkan bahwa sistem memiliki komponen regeneratif (motor acting as generator), atau adanya kesalahan sinyal/noise transien diawal simulasi.



Gambar 7. Grafik Konsumsi Daya Motor

Rumus Umum Daya Mekanis Rotasi:

$$P(t) = \tau(t) \cdot \omega(t) \quad (7)$$

Keterangan:

$P(t)$: Daya pada waktu t (Watt)

$\tau(t)$: Torsi motor (Nm)

$\omega(t)$: Kecepatan sudut (rad/s)

Karena grafik menunjukkan lonjakan awal besar (impuls daya) dan dilikuti osilasi periodik maka kita bisa modelkan:

$$P(t) = A \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \cdot \sin(2\pi ft) + C \quad (8)$$

Keterangan:

A : Amplitudo awal lonjakan daya (misal 7500 W)

α : Koefisien redaman lonjakan awal

- E : Waktu puncak lonjakan (sekitar 0,3 s)
- f : Frekuensi osilasi daya (= 6–10 Hz tergantung jumlah gelombang dalam 3 detik)
- C : Nilai offset daya rata-rata (mungkin sekitar 500–1000 W).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi kinematika dan dinamika, mekanisme lengan penanam pada rancangan mesin penanam padi ini mampu mempertahankan jarak tanam konsisten sebesar 0,25 m dengan pergerakan yang stabil dan torsi maksimum yang relatif moderat ($\pm 465 \text{ N-mm}$). Desain ini berpotensi meningkatkan produktivitas hingga lebih dari 7 kali lipat dibandingkan metode manual, serta menawarkan efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan sebagian besar mesin penanam konvensional. Untuk penerapan di lapangan, diperlukan pelatihan operator agar mampu mengoperasikan dari merawat mesin sesuai prosedur, termasuk penyesuaian kecepatan maju dan pengaturan kedalaman tanam sesuai kondisi lahan. Pengujian di berbagai jenis tanah dan kondisi air sawah juga penting dilakukan guna memastikan kinerja tetap optimal. Disarankan pula adanya ketersediaan suku cadang dan dukungan teknis di wilayah penggunaan untuk menjamin keberlanjutan operasional.

Pengembangan selanjutnya dapat mengarah pada integrasi sensor dan sistem kendali otomatis untuk memantau kinerja mesin secara real-time, termasuk deteksi jarak tanam dan jumlah bibit tertanam. Pemanfaatan energi terbarukan, seperti panel surya untuk mendukung sumber daya listrik, juga dapat menjadi inovasi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Selain itu, modulasi desain memungkinkan penyesuaian lebar kerja sesuai kebutuhan, sehingga mesin dapat diaplikasikan pada skala usaha tani yang berbeda. Dengan implementasi yang tepat dan pengembangan lanjut, teknologi ini berpotensi mempercepat modernisasi proses penanaman padi, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, serta meningkatkan efisiensi dan daya saing sektor pertanian.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sapak Agus Wijianto, ST., MT sebagai dosen pembimbing yang telah membantu dalam proses menyelesaikan jurnal tersebut untuk penelitian dan jalur publikasi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh dosen Teknik Mesin yang juga telah memberikan pembelajaran dan bimbingannya kepada saya, dan kepada kawan-kawan yang telah bekerja keras untuk membantu saya dalam menyelesaikan jurnal tersebut.

Daftar Pustaka

- Al-Hossain, Sayed Jaber, Muhammad Rashed Al Mamun, Md. Khalid Hasan Sowrab, Md. Janibul Alam Soeb, dan Prosenjit Saha. 2024. "Design and Fabrication of an Autonomous Rice Transplanter." *American Journal of Agricultural Science, Engineering, and Technology* 8(2): 39–48. <https://doi.org/10.54536/ajaset.v8i2.3108>.
- Deshmukh, Bhushan, Sagar Thombare, Ankit Ejirwar, Jitesh Kosariya, Lav Parate, Sachin Sontakke, dan Anuksh Parate. 2018. "Development and Fabrication of Manual Rice Transplanting Machine." *International Journal of Research Available*. <https://edupedipublications.org/journals>.
- Hilmy, Mochamad, Hamidah Hendranini, dan Risqi Firdaus Setiawan. 2025. "Analisis Efisiensi Penggunaan Rice Transplanter dan Konvensional pada Usahatani Padi di Desa Lasem Kecamatan Sidayu Kabupaten Gresik." *Jurnal Ilmiah Respati*. <https://ejournal.unindo.ac.id/index.php/pertanian>.
- Hu, Kai, dan Wenyi Zhang. 2018. "Design and Simulation for Driving System and Steering System of Hydraulic Chassis of Rice Transplanter." *Advances in Mechanical Engineering* 10(10). <https://doi.org/10.1177/1687814018808901>.

- Irmayani, Meity Melani Mokoginta, Poomika Kumari Seelagama, Abdullah, Dina Aprianty Azis, Mukhlis, dan Masnur. 2024. "Strategy Analysis for Implementing Rice Transplanter Planting Machine Technology in Rice Farming Using the Interpretive Structural Modeling (ISM) Method." *South Sulawesi.*" *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA* 10 (4): 1827–36. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i4.7124>.
- Pimpalgonkar, S. M., Tushar P. Sapute, Subhash K. Baghel, Vaibhav D. Wadilsharne, Sumeet S. Thosar, dan Sachin W. Bawane. 2020. "Design and Development of Rice Transplanting Machine." *International Research Journal of Engineering and Technology*, <https://www.irjet.net>.
- Randi Saputra. 2023. "Rancang Bangun Alat Tanam Padi Semi Mekanik Tadah Benih Horizontal Metoda Rotary." *Jurnal Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat*.
- Ristiawan, Ichsan, Simon Parekke, Eko Despryanto, Muhammad Afif Zakwan, dan William Rompi. 2018. "Rancang Bangun Alat Penanam Padi dengan Sistem Penggerak Manual dan Motor Bakar." *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 10 [1].
- Rofarsyam. 2019. "Modifikasi Mesin Penanam Bibit Padi Manual dengan Transmisi Rantai Penggerak Motor Bensin 1.8 HP."
- Salam, Abdul, Yoshihard Basongan, Laode Musa, Andi Rifqih Saputra, Linda Hidayanti, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri, dan Ujung Pandang. 2024. "Pengembangan Alat Penanam Bibit Padi pada Kelompok Tani Manjalling." *Politeknik Negeri Ujung Pandang News*, <https://www.polupung.ac.id/herita/read/2024/09/23/1195/pnup-tingkatkan-produktivitas-pertanian-melalui>.
- Salam, Abdul, Rusdi Nur, Adli Adil, Fitrial Jannah, dan M. Fathur Hidayat. 2025. "Pengembangan Desain Konstruksi Mesin Penanam Bibit Padi Menggunakan Motor Listrik Inverter." *Jurnal Teknik Mesin Sinergi* 22 (2): 319–25. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v22i2.4878>.
- Sarwoko, dan Revino. 2020. "Perancangan Alat Bantu Tanam Bibit Padi Sawah secara Ergonomis dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Waktu Tanam."
- Sugiarto, Hata, Rini Puji Astutik, dan Pressa Perdani Surya Saputra. 2023. "Rancang Bangun Sistem Kendali Alat Penanam Padi Otomatis Berbasis IoT Menggunakan ESP32 CAM." *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan* 8 (1): 81–90. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3553>.
- Sulistyaningsih, Arnudin Laia. 2022. "Pemanfaatan Alat Rice Transplanter dalam Usahatani Padi Sawah (Kasus di UD Maju Jaya dan Kelompok Tani Bersatu Situbondo)." *Jurnal Pertanian Agros* 24 (3). <https://doi.org/10.20956/jppipa.v10i4.7124>.
- Susanti, Oknovia, dan Bima Sugesti Arif. 2020. "Perancangan dan Pembuatan Mesin Pemotong Padi Sederhana di Desa Pitalah Kabupaten Tanah Datar." *Jurnal Hilirisasi IPTEKS* 3.
- Yang, Bajia, Malle Zhou, Daqing Yin, dan Jianjun Yin. 2024. "Design and Development of Rice Pot Seeding Transplanting Machinery Based on a Non-Circular Gear Mechanism." *Applied Sciences* 14 (3). <https://doi.org/10.3390/app14031027>.
- Yantony, Didi, Simon Parekke, dan Oktaviani Risa. 2024a. "Rancang Bangun Mekanisasi Penanam Padi Organik Lima Lajur dengan Penggerak Motor DC 12 Volt." *Jurnal Vokasi Teknik Mesin dan Fabrikasi Logam* 3 (2).
- Zha, Xiantao, Guozhong Zhang, Shijie Zhang, Qunxi Hou, Yang Wang, dan Yong Zhou. 2020. "Design and Experiment of Centralized Pneumatic Deep Precision Fertilization Device for Rice Transplanter." *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 13 (6): 109–17. <https://doi.org/10.25165/iiaabe.20201306.5479>.
- Zhong, Zhidong, Yifan Yao, Jianyu Zhu, Yufei Liu, Juan Du, dan Xiang Yin. 2025. "Automation of Rice Transplanter Using Agricultural Navigation." *Agriculture* 15 (11). <https://doi.org/10.3390/agriculture15111125>.

Turnitin

ORIGINALITY REPORT

96%
SIMILARITY INDEX

96%
INTERNET SOURCES

7%
PUBLICATIONS

4%
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1 e-journals.irapublishing.com
Internet Source **96%**

Exclude quotes Off

Exclude bibliography Off

Exclude matches Off